

Rancang Bangun *Load Cell* Kapasitas 20 kN Untuk Beban Kerja Tarik dan Tekan

Sri Wahyuni Sitorus, Ajat Sudrajat, Kiki Rezki L

Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional
Jalan Sawo Manila, Pasar Minggu, Jakarta 12520

Korespondensi: ayuwahyuni0805@yahoo.com

Abstrak. Perusahaan yang bergerak di bidang jasa inspeksi sering mendapatkan tugas untuk mengetahui berat atau kekuatan struktur dari benda yang diinspeksi di lapangan. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut akan di rancang bangun *load cell* kapasitas 20 kN untuk beban kerja tarik dan tekan dengan sederhana namun memiliki fungsi yang sama serta memenuhi kebutuhan pengukuran atau pengujian di lapangan. Pembahasan mencakup pemilihan bahan, perhitungan perencanaan, penempelan *strain gauge*, verifikasi *load cell* serta metode kalibrasinya *load cell* dengan kapasitas 20 kN untuk beban kerja tarik dan tekan. Verifikasi terhadap *load cell* dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara perhitungan perencanaan dan hasil pengukuran. Dari hasil verifikasi ditemukan bahwa terdapat penyimpangan regangan sebesar 12,619 μ atau sekitar 1,48 % dan penyimpangan tegangan sebesar 3,28 N/mm² atau sekitar 1,85 %. Berdasarkan hasil evaluasi data kalibrasi dengan mengacu pada *British Standard ISO 376:2011*, *load cell* tidak masuk dalam kelas 0, 0,5, 1 dan 2 karena memiliki nilai ketidakpastian (U_{95}) yang melewati batas yang ditentukan yaitu ketidakpastian pengukuran (U_{95}) sebesar 0,24 % untuk beban kerja tarik dan) 0,23 % untuk beban kerja tekan.

Kata Kunci : Rancang bangun *load cell*, *strain gauge*, tegangan dan regangan.

PENDAHULUAN

Industri yang bergerak di bidang jasa inspeksi sering mendapatkan tugas untuk mengetahui berat dan melakukan pengujian material (bahan) dari benda yang diinfeksi di lapangan [1]. Pengujian material yang sering dilakukan dalam dunia industri adalah uji tarik (*tensile test*) dan uji tekan (*compression test*). Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban operasinya yang didasarkan pada perhitungan kekuatan material [2]. Pengujian material tersebut menggunakan mesin uji yang telah dilengkapi perangkat-perangkat elektronik yang dapat memudahkan dalam menganalisa data yang diperoleh seperti *load cell*. Hasil pengujian material akan lebih akurat apabila mesin uji dilengkapi dengan *load cell* [3]. Begitu juga untuk mengetahui berat dari benda yang akan diuji, maka akan digunakan *crane* (pesawat angkat) yang dilengkapi dengan *load cell* yang prinsipnya sama dengan *load cell* uji tarik. *Load cell* dalam aplikasinya selalu disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Untuk pengujian tarik saja ataupun pengujian tekan saja. Masih cukup jarang *load cell* yang dapat digunakan untuk dua fungsi (tarik dan tekan). Penelitian ini akan melakukan inovasi mengenai bentuk dan model dari *load cell* agar hasil pengukuran yang didapat mendekati kebenaran (*accurate*) dan dalam satu *load cell* dapat digunakan untuk beban kerja tarik dan tekan. Berdasarkan uraian diatas, akan dilakukan rancang bangun *load cell* kapasitas 20 kN untuk beban kerja tarik dan tekan dengan sederhana namun memiliki fungsi yang sama serta memenuhi kebutuhan pengukuran. Material yang digunakan dalam rancang bangun *load cell* ini adalah “*High Strength Low Allow*” (ASSAB 70). Sedangkan sensor yang digunakan adalah sensor regangan tahanan listrik (*strain gauge*).

DASAR TEORI

Load Cell

Load cell merupakan transduser gaya yang mengukur gaya dengan cara mengukur defleksi yang diakibatkan oleh gaya tersebut. Komponen sensor dalam *load cell* yang

digunakan untuk mengukur besarnya defleksi adalah *strain gauge*. Berdasarkan arah gayanya, *load cell* dapat dibedakan menjadi *load cell* tekan, *load cell* tarik, maupun *load cell* tarik-tekan. Sedangkan berdasarkan bentuknya, beberapa tipe *load cell* yang sering dijumpai antara lain *load cell* tipe *button*, *load cell* tipe *column (canister)*, *load cell* tipe S dan *load cell* tipe *pancake (low profile)* [4].

Modulus Elastisitas

Apabila sebuah benda diberikan gaya luar, maka benda yang menerima gaya tersebut akan mengalami perubahan. Salah satu bentuk dari perubahannya adalah perubahan panjang. Apabila gaya luar yang diberikan kepada benda tersebut dihilangkan, lalu benda kembali ke bentuk semula, maka benda tersebut memiliki sifat elastisitas (kelenturan). Elastisitas adalah kemampuan benda untuk kembali ke bentuk semula, ketika gaya yang bekerja pada benda tersebut dihilangkan [5].

Pengujian Tarik dan Tekan

Dalam penelitian ini *load cell* akan difungsikan untuk pengujian tarik dan tekan. Pada dasarnya pengujian tarik dan tekan hampir sama, sehingga fungsinya pun hampir sama yaitu untuk mengetahui sifat mekanis dari suatu benda logam terhadap tarikan atau tekanan dimana sifat mekanis tersebut antara lain titik luluh, titik tarik maksimum, titik putus dan karakter bahan.

Strain, Stress dan Poisson's Ratio

Ketika material (bahan) menerima gaya dari luar berupa gaya tarik (*tensile test*) atau gaya tekan (*compression test*), maka material tersebut akan mengalami tekanan (*stress*) yang berhubungan dengan gaya yang dialaminya (Permatasari & Habiburrahman, 2011). Perbandingan antara gaya F terhadap luas penampang A atau yang disebut tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Ketika material mengalami tekanan (*stress*), maka penampang akan berkontraksi dan bertambah panjang sebesar (ΔL) dari panjang mula-mula (L). Perbandingan antara pertambahan panjang material (ΔL) terhadap panjang mula-mula (L) atau yang disebut regangan (*strain*) [6] dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Hubungan dari *stress dan strain* yang diinisiasikan pada sebuah material yang menerima gaya dirumuskan oleh hukum Hooke sebagai berikut:

$$\sigma = E\varepsilon$$

Ketika material mengalami gaya tarik maka material akan memanjang pada arah axial dan juga akan berkontraksi pada arah transversal. Perpanjangan pada arah axial dinamakan *longitudinal strain* dan kontraksi pada arah transversal dinamakan *transverse strain*. Nilai absolut dari perbandingan antara *longitudinal strain* dan *transverse strain* dinamakan *Poisson's ratio*, yang dirumuskan sebagai berikut:

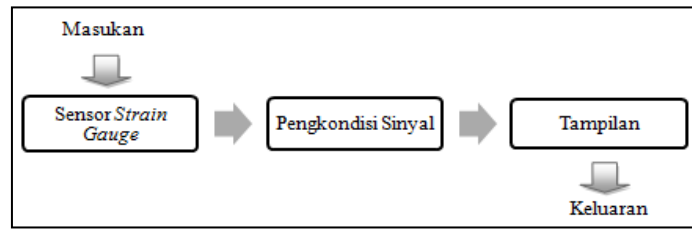
$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \right|$$

Strain Gauge

Strain gauge adalah bagian penting dari sebuah *load cell* yang berfungsi untuk mendeteksi besarnya perubahan dimensi jarak yang disebabkan oleh suatu elemen gaya [7]. *Strain gauge* digunakan dalam pengukuran presisi gaya, berat, tekanan, torsi, perpindahan dan kuantitas mekanis yang dikonversi menjadi tegangan dalam anggota mekanis. Prinsip kerja *strain gauge* adalah berdasarkan perubahan bentuk/dimensi dari suatu kawat logam akan mengakibatkan perubahan tahanan listrik kawat (Djuhana, 2016).

METODOLOGI PENELITIAN

Berikut ini akan dijelaskan cara kerja dan fungsi masing-masing bagian pada rancang bangun pada gambar 1.

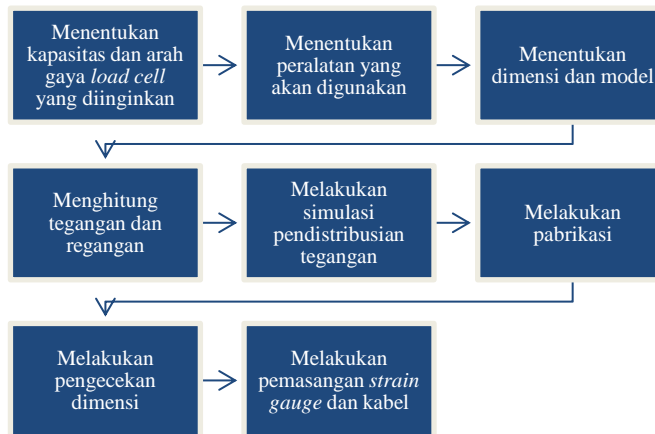


Gambar 1. Blok diagram Sistem Pengukuran.

Masukan yang digunakan berupa *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan) yang diberikan pada *load cell*, setelah itu *strain gauge* yang merupakan sensor gaya akan menerjemahkan masukan ini berupa resistansi. *Strain gauge* digunakan dalam rangkaian penguat instrumentasi dan diposisikan sebagai hambatan dalam rangkaian jembatan, dan diolah sedemikian sehingga dapat diterjemahkan dengan keluaran berupa tegangan dan ditampilkan pada indikator.

Strain, Stress dan Poisson’s Ratio

Untuk mencapai tujuan penelitian, dapat diurutkan bahwa tahapan rencana penelitian ini seperti gambar 3.



Gambar 2. Tahapan Rancang Bangun.

Tahap penelitian dimulai dengan menentukan kapasitas dan arah gaya *load cell* yang akan akan di rancang. Penentuan kapasitas dan arah gaya ini sangat penting sebagai pertimbangan untuk tahap selanjutnya. Pada penelitian ini *load cell* akan di rancang untuk kapasitas maksimum 20 *kN* (2000 *kgf*) sesuai dengan kebutuhan di dunia industri kecil dengan arah gaya tarik dan tekan dengan sensitivitas (V_o/V_s) sebesar 1 mV/V.

Untuk memenuhi kebutuhan pembuatan *load cell* ini, material yang digunakan adalah ASSAB 70 (baja). Bahan ini memiliki sifat kekerasan dan elastisitas yang tinggi sehingga sesuai dengan peruntukkan *load cell* yang dirancang. Karena material yang digunakan adalah baja maka *strain gauge* yang digunakan adalah untuk jenis baja dengan tahanan 350 Ohm TML tipe FLA-3-350-11. Untuk indikator yang digunakan adalah indikator digital dengan tipe A12E. Indikator A12E adalah indikator cerdas untuk aplikasi proses berat industri yang menawarkan fasilitas integrasi PLC yang hebat.

Dimensi sangat tergantung pada diameter *eye bolt* (gantungan) dan dimensi *strain gauge* yang tersedia. Seperti yang telah dijelaskan pada diagram tegangan dan regangan, daerah linier material umumnya berada pada tegangan yang menyebabkan regangan 2000 $\mu\epsilon$ (Mardiyanto & Sumarna, 2013). Oleh karena itu, *load cell* dirancang dapat menerima

regangan $\pm 2000 \mu\epsilon$ pada beban 2000 kgf. Perhitungan penampang *load cell* untuk beban rencana 100 kN, dengan regangan yang diharapkan (ϵ) = 0,1 %, dilakukan dengan memasukan harga F, ϵ dan E pada persamaan $A = \frac{F}{\epsilon x E}$ dan diperoleh:

$$A = \frac{2.000 \text{ kgf}}{1.000 \times 10^{-6} \times 21.000 \text{ kgf/mm}^2} = 95,24 \text{ mm}^2$$

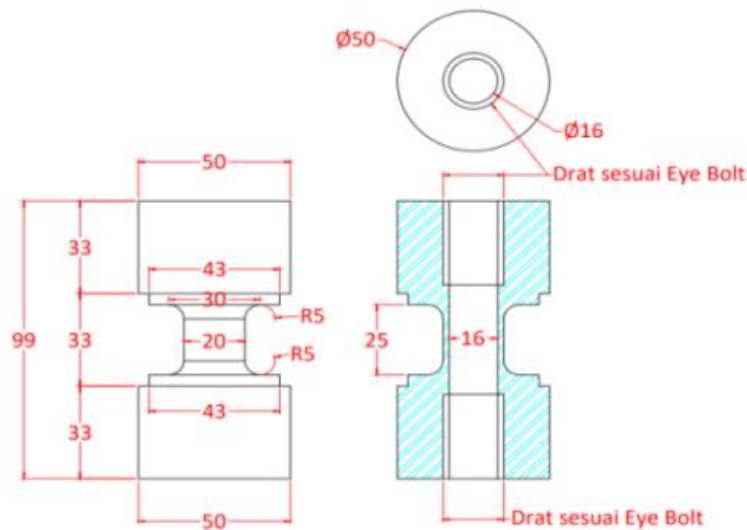
Diameter *load cell* dihitung dengan persamaan:

$$A = \frac{\pi}{4} (dl^2 - dd^2)$$

Dengan memasukkan nilai A dan dd (diameter dalam), maka nilai dl (diameter luar) dapat ditentukan seperti berikut :

$$dl = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi} + dd^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 95,23}{3,14} + 16^2} = 20 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka kedua ujung *load cell* dilubangi (di bor) dengan diameter dalam 16 mm dan diameter luar 20 mm. *Eye bolt* yang digunakan adalah jenis M-279 dengan size M20.



Gambar 3. Dimensi dari *load cell* setelah disesuaikan dengan tabel *eye bolt*.

Untuk tegangan dan regangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

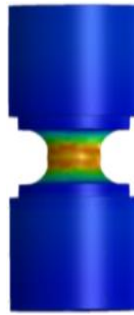
$$\sigma = \frac{F}{\frac{\pi}{4} (dl^2 - dd^2)}$$

$$\sigma = \frac{2.000}{3,14/4 (20^2 - 16^2)} = 17,69 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 173,54 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\epsilon = \frac{17,69 \text{ kg/mm}^2}{21.000 \text{ kg/mm}^2} = 8,42 \times 10^{-4} = \mu\epsilon$$

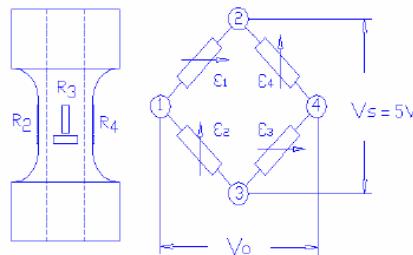
Dengan dimensi *load cell* yang dirancang diharapkan jika *load cell* diberikan beban maksimum yaitu 20 kN (2000 kgf) regangan yang terjadi masih berada dalam daerah linier. Pelekatan *strain gauge* harus dilakukan dengan tepat dan benar pada lokasi yang memiliki konsentrasi tegangan yang paling tinggi dan homogen. Maka dari itu dilakukan simulasi untuk mengetahui distribusi tegangan pada batang *load cell* yang telah ditentukan dimensinya.



Gambar 4. Distribusi tegangan pada batang *load cell*.

Dari gambar 4 terlihat bahwa konsentrasi tegangan yang paling besar pada daerah tengah batang *load cell* yaitu $17,97 \text{ kg/mm}^2$. Harga tegangan yang diperoleh dari simulasi *solid work* lebih besar dari hasil perhitungan yaitu sebesar $17,69 \text{ kg/mm}^2$.

Pada gambar 6, dalam rancang bangun ini konfigurasi jembatan yang digunakan adalah rangkaian jembatan wheatstone penuh (*full bridge*) karena memiliki sensitivitas jembatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan $\frac{1}{4}$ jembatan dan $\frac{1}{2}$ jembatan.



Gambar 5. Penempelan *Strain Gauge* & Konfigurasi Jembatan

Setelah melakukan perancangan imensi dan melakukan simulasi pada *solid work* maka tahap selanjutnya adalah tahap pabrikan dan pemasangan *strain gauge*.



Gambar 6. *Strain gauge* yang terpasang pada *frame load cell*.

Setelah 4 *strain gauge* terpasang pada *load cell*, maka selanjutnya menghubungkan *strain gauge* satu dengan yang lainnya dengan kabel menggunakan solder, sehingga membentuk konfigurasi jembatan wheatstone penuh (*full bridge*) setelah itu melakukan pengukuran regangan.

Pengukuran Regangan

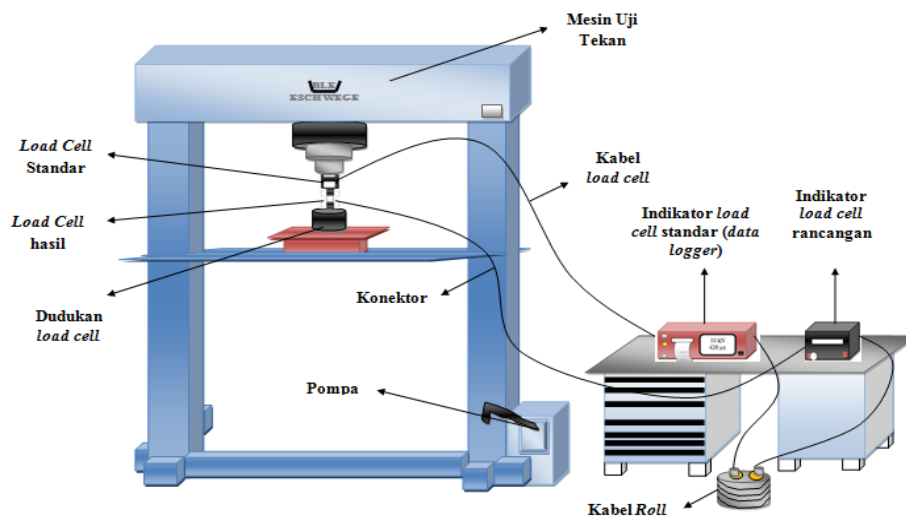
Verifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pabrikan sudah sesuai dengan hasil desain. Dalam hal ini verifikasi regangan dilakukan dengan menggunakan mesin tarik tipe KP kapasitas 100 kN untuk pemberian pembebanan dan data logger tipe TDS-530 sebagai pencatat hasil regangan. Adapun proses pengukuran regangan adalah sebagai berikut :

- *Load cell* rancangan dan *load cell* standar dipasang pada mesin press dengan posisi *load cell* rancangan dan *load cell* standar dalam satu sumbu tekan.
- Menghubungkan kabel *load cell* standar dan *load cell* rancangan pada data logger.

- Melakukan *setting* data logger pada *load cell* standar sesuai manual. Yaitu memasukan koefisien sesuai sensitivitas *load cell*, unit dan kapasitas *load cell* agar penunjukannya sesuai.
- Melakukan *setting* data logger pada *load cell* rancangan untuk penunjukan regangan.
- Setelah *setting* selesai langkah selanjutnya adalah mennolkan / menginisialisasi data logger untuk mendapatkan harga nol dari *load cell* rancangan dan standar.
- Kemudian memberi beban secara bertahap sampai 100 % kapasitas *Load cell* rancangan (20 kN), minimal 3 tahap.

Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan nilai penunjukan *load cell* rancangan sesuai dengan *load cell* standar. Dan untuk mengetahui ketelitian dan sensitivitas dari *load cell* yang telah dibuat. Metode kalibrasi yang digunakan adalah ISO 376:2011. Proses kalibrasi dengan beban kerja tarik dan tekan hampir sama, hanya saja peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian tekan dan tarik berbeda. Kalibrasi dilakukan dengan beban tekan dan tarik dengan pengambilan data masing- masing tiga kali.



Gambar 7. Skema kalibrasi load cell dengan beban kerja tekan

Adapun proses kalibrasi *load cell* terlihat pada gambar 8 adalah :

- Men-setting load cell standar dan load cell rancangan pada mesin pembebanan pada garis lurus, Melakukan setting data logger pada load cell standar sesuai manual
- Memastikan load cell tidak terbebani, lalu menolkan amplifier load cell standar
- Melakukan pembebanan maksimal (100%) kemudian me-release ke 0 kN, tanpa mencatat. Memberi tanda load cell dalam posisi 0o. kemudian melakukan pembebanan langkah demi langkah per 10 % (2 kN), hingga beban maksimum 20 kN (2000 kg) kemudian me-release beban hingga nol dan mencatat hasilnya perlangkah. Kemudian proses diatas diulang sekali lagi, Memutar load cell 120° atau 180° dari posisi semula.
- Melakukan pembebanan 100% (20 kN) kemudian menurunkan hingga nol, tanpa mencatat. Melakukan pembebanan langkah demi langkah per 10 % (2 kN), hingga beban maksimum 20 kN (2000 kg) kemudian pembebanan diturunkan langkah demi langkah per 10 % hingga beban nol, dan mencatat hasilnya perlangkah.
- Memutar load cell 240o atau 360o dari posisi awal, melakukan pembebanan 100% (20 kN) kemudian menurunkan hingga nol, tanpa mencatat hasil.
- Melakukan pembebanan langkah demi langkah per 10 % (2 kN), hingga beban maksimum 20 kN (2000 kg) kemudian pembebanan diturunkan langkah demi langkah per 10 % hingga beban nol, dan mencatat hasilnya perlangkah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai regangan tersebut sudah tidak lagi terpengaruh oleh adanya panas temperatur kamar dan panjangnya kabel antara *load cell* dan peralatan pengkondisi sinyal, sehingga tidak perlu lagi dikoreksi perbedaan sistem kepekaan *strain gage* (*gage factor*) dan sistem alat, (*device factor*), oleh sebab koreksi kedua sistem tadi sudah dimasukkan pada saat memprogram pengkondisi sinyal. Dari tabel 1 adalah data hasil pengukuran regangan, untuk beban maksimum 20 kN adalah 855 μ . Tabel 1 adalah data pengamatan dari hasil pengukuran.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Regangan.

Besar gaya yang diberikan mesin		Regangan ($\mu\epsilon$)		
kN	kg	X1	X2	X3
0	0	0	0	0
2	85	85	85	85
4	171	170	172	171
6	255	256	255	255
8	341	341	342	341
10	425	426	426	425
12	512	512	513	512
14	598	597	596	598
16	682	683	683	682
18	770	769	770	770
20	854	855	848	854

Sedangkan dari hasil perhitungan untuk beban 20 kN besarnya regangan adalah 842,381 μ . Disini terdapat selisih regangan sebesar 12,619 μ atau sekitar 1,48 %. Dari data hasil pengukuran untuk beban 20 kN tegangan yang terjadi pada *load cell* adalah $\sigma = \epsilon \times E = 855 \cdot 10^{-6} \times 21 \cdot 10^4 = 176,82 \text{ N/mm}^2$. Sedangkan berdasarkan hasil perhitungan desain, tegangan yang terjadi sebesar $173,54 \text{ N/mm}^2$. Disini terdapat selisih regangan sebesar $3,28 \text{ N/mm}^2$ atau sekitar 1,85 %. penyimpangan tegangan sebesar $3,28 \text{ N/mm}^2$ atau sekitar 1,85 %.

Tabel 2. Data Kalibrasi *Load Cell* Dengan Beban Kerja Tarik.

Gaya dari mesin		Besar Gaya yang Dikeluarkan Indikator <i>Load Cell</i> Rancangan (kg)					
kN	Kg	Naik - Release 0		Naik	Turun	Naik	Turun
		X1	X2	X3	X4	X5	X6
0	0	0	0	0	0	0	0
2	203,88	203	203	203	203	203	203
4	407,76	405	405	406	405	405	406
6	611,64	608	609	608	609	609	608
8	815,52	812	813	813	813	813	812
10	1.019,40	1014	1014	1014	1013	1015	1015
12	1.223,28	1217	1217	1216	1218	1216	1217
14	1.427,16	1420	1419	1419	1420	1421	1419
16	1.631,04	1623	1622	1623	1623	1624	1622
18	1.834,92	1827	1826	1826	1825	1824	1825
20	2.038,80	2029	2029	2028	2028	2029	2029
0	0	0	2	-	-	-	-
		0°		120°/180°		240°/360°	

Tabel 2 adalah hasil kalibrasi *load cell* dengan beban kerja tarik dan tabel 3 adalah hasil kalibrasi *load cell* dengan beban kerja tekan . Besar gaya yang dikeluarkan indikator *load cell* standar dinyatakan dalam satuan *kN* dan dikonversi dalam satuan *kg* untuk menyamakan satuan gaya yang dikeluarkan indikator *load cell* rancangan. Data hasil kalibrasi terbagi menjadi 6 kolom yaitu X1, X2, X3, X4, X5, X6. Data X1 adalah hasil kalibrasi dengan pembebanan naik bertahap per 2 *kN* sampai beban maksimal 20 *kN* dan ketika beban di *release* indikator menunjukkan angka 0. Data X2 ketika beban di *release* indikator tidak menunjukkan angka 0 melainkan angka 2, yang artinya masih ada beban yang tersisa sebesar 2 *kg*. Kemudian dilakukan *reset* agar indikator menunjukkan angka 0. Data X3 adalah hasil kalibrasi dengan pembebanan naik bertahap per 2 *kN* sampai dengan

beban maksimal 20 kN. Data X4 adalah hasil kalibrasi dengan pembebanan diturunkan bertahap per 2 kN sampai dengan pembebanan 0. Untuk data X5 dan X6 penjelasannya sama seperti X3 dan X4. Menurut metode ISO 376:2011 kalibrasi *load cell* yang perlu dihitung [9].

Tabel 3. Hasil Pengambilan Data Kalibrasi (Uji Tekan).

Gaya		Besar Gaya yang Dikeluarkan Indikator <i>Load Cell</i> Rancangan (kg)					
kN	Kg	Naik - Release 0		Naik	Turun	Naik	Turun
		X1	X2	X3	X4	X5	X6
0	0	0	0	0	0	0	0
2	203,88	203	203	203	203	203	203
4	407,76	406	406	406	406	406	405
6	611,64	609	609	609	610	610	611
8	815,52	813	813	812	813	812	813
10	1.019,40	1014	1014	1015	1015	1014	1014
12	1.223,28	1219	1219	1219	1219	1219	1222
14	1.427,16	1419	1420	1421	1420	1421	1419
16	1.631,04	1624	1623	1621	1622	1624	1623
18	1.834,92	1825	1826	1825	1825	1826	1826
20	2.038,80	2029	2028	2031	2031	2030	2030
	0	0	2	-	-	-	-
		0°		120°/180°		240°/360°	

Tabel 4. Hasil Perhitungan Data Kalibrasi Load Cell Dengan Beban Kerja Tarik.

Kesalahan Relatif (%)					
<i>Reproducibility</i>	<i>Repeatability</i>	Interpolasi	Titik Nol	<i>Reversibility</i>	Ketidakpastian rentang 95%
<i>b</i>	<i>b'</i>	<i>f_c</i>	<i>f₀</i>	<i>v</i>	<i>U₉₅</i>
0	0.000	100.000	0.1	0.000	0.00
0	0.000	0.060	0.1	0.000	0.21
0.25	0.000	0.101	0.1	0.002	0.00
0.16	0.164	0.045	0.1	0.002	0.00
0.12	0.123	0.148	0.1	0.001	0.24
0.20	0.000	0.000	0.1	0.000	0.23
0.16	0.000	0.071	0.1	0.001	0.23
0.14	0.070	0.004	0.1	0.001	0.22
0.12	0.062	0.025	0.1	0.001	0.22
0.16	0.055	0.007	0.1	0.001	0.23
0.05	0.000	0.001	0.1	0.000	0.21

Kesalahan relatif *repeatability* (*b'*)

$$b' = \left| \frac{X_{max} - X_{min}}{\bar{X}_r} \right| \times 100$$

Kesalahan Relatif *Reproducibility* (*b*)

$$b = \left| \frac{X_2 - X_1}{\bar{X}_{wr}} \right| \times 100 \%$$

Kesalahan Relatif interpolation (*f_c*)

$$f_c = \frac{\bar{x} - X_a}{X_a}$$

Kesalahan Relatif Titik Nol (*f₀*)

$$f_0 = \frac{X_{if} - X_{i0}}{X_N} \times 100 \%$$

Kesalahan Relatif *Reversibility* (*v*)

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Ketidakpastian *U₉₅*

$$U_{95} = k \times U_c$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Data Kalibrasi Load Cell Dengan Beban Kerja Tarik.

Kesalahan Relatif (%)					
<i>Reproducibility</i>	<i>Repeatability</i>	Interpolasi	Titik Nol	<i>Reversibility</i>	Ketidakpastian rentang 95%
B	b'	f_c	f_0	v	U_{95}
0	0,000	100,000	0,10	0,000	0,00
0	0,000	0,092	0,10	0,000	0,21
0,00	0,000	0,021	0,10	0,001	0,21
0,16	0,000	0,057	0,10	0,002	0,23
0,12	0,000	0,055	0,10	0,001	0,22
0,10	0,000	0,045	0,10	0,000	0,21
0,00	0,000	0,108	0,10	0,001	0,21
0,14	0,070	0,018	0,10	0,001	0,22
0,18	0,062	0,030	0,10	0,001	0,23
0,05	0,055	0,058	0,10	0,000	0,21
0,15	0,049	0,035	0,10	0,000	0,22

Berdasarkan hasil evaluasi data kalibrasi pada tabel 4 dan tabel 5, nilai kesalahan relatif untuk *repeatability* (b) terbesar bernilai 0,164%, *reproducibility* (b') terbesar bernilai 0,25 %, interpolasi (f_c) terbesar bernilai 0,148% , titik nol (f_0) terbesar bernilai 0,1 %, *hysteresis* (v) terbesar bernilai 0,002 % dan nilai ketidakpastian (U_{95}) terbesar bernilai 0,24 %.

KESIMPULAN

Dalam perancangan *load cell*, dimensinya harus disesuaikan dengan dimensi *eye bolt* yang sesuai dengan beban nominal *load cell*. Dalam penelitian ini beban nominal *load cell* yang direncanakan 20 kN menggunakan *load cell* untuk beban kerja 50 kN. Setelah data kalibrasi *load cell* dievaluasi berdasarkan metode ISO 376:2011 diperoleh nilai ketidakpastian (U_{95}) pada kalibrasi *load cell* dengan beban kerja tarik sebesar 0,24 %, sedangkan nilai ketidakpastian data kalibrasi *load cell* dengan beban tekan sebesar 0,23 %

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supriyatno. (2002). Rancang Bangun Sensor Gaya (Load Cell) Kapasitas 5 Tonf. Jakarta.
- [2] Budiman, H. (2016). Analisa Pengujian Tarik (Tensile Test) Pada Baja ST 37 Dengan Alat Bantu Ukur Load Cell. Jurnal J-Ensitem , 9-13R. J.
- [3] Koswara, E. (2015). Perancangan Mesin Uji Tarik Menggunakan Load Cell Kapasitas 1000 kg.
- [4] Nurcahyono, D. (2017). Analisa Kalibrasi Load Cell Tarik Tipe Pancake dengan Metode Kalibrasi Tekan. (pp. 154-166)
- [5] Dwi Martini, R. O. (2009). Penentuan Modulus Young Kawat Besi Dengan Percobaan Regangan. Berkala Fisika Indonesia , 1-14
- [6] Souisa, M. (2011). Analisa Modulus Elastisitas Dan Angka Poisson Bahan Dengan Uji Tarik. Jurnal Barekeng , 9-14.
- [7] Magga, R. (2011). Penggunaan Strain Gage (Load Cell) Untuk Analisa Tegangan Pada Pembebanan Statik Batang Aluminium. Jurnal Mekanikal , 138-146.
- [8] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics," in *Plastics*, 2nd ed., vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15-64.
- [9] Mr David Dobbs, M. (2011). *Metallic materials-Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines*. BSI Standards Publication (hal. 1-30). British standard.